

无功与谐波电流检测系统的设计

孙 谋,文小玲,黄文慧,李凤旭

(武汉工程大学,湖北 武汉 430074)

摘 要:详细地阐述了谐波电流检测系统的硬件设计原理及其软件设计方法,并在 TMS320LF2407 硬件平台上得以实现.最后,针对不同负载情况,对所设计的系统进行了实验研究,并对实验结果进行分析,比较了两种不同谐波检测法的优缺点,同时也验证了该系统的设计是可行的、有效的.

关键词:谐波电流检测;有源电力滤波器;DSP

中图分类号:TM761⁺.1

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2011.12.020

0 引 言

电力电子技术的飞速发展,一方面给电能的变换和应用带来了方便,另一方面又给电力系统带来了较严重的电能质量问题,如谐波污染、无功问题、电压波动及不平衡等.有源电力滤波器(Active Power Filter, APF)被公认为是治理电网谐波及无功污染、改善电能质量最有效的手段^[1-2].

从有源电力滤波器的工作原理可知,谐波电流的准确和快速检测是决定有源电力滤波装置补偿性能好坏的关键技术之一.本文详细论述了以 TMS320LF2407 DSP(数字信号处理器)为核心的无功与谐波电流检测的系统硬件组成原理、电压同步信号检测电路、电压信号检测电路、电流信号检测电路的设计方法,以及系统软件的设计方法.最后,针对不同性质的负载,对所设计的系统进行了实验研究.

1 硬件设计

基于 TMS320LF2407 DSP 的无功与谐波电流检测系统组成原理框图如图 1 所示,主要由 DSP

处理器、电流信号采样电路、电压信号采样电路、电网电压同步信号检测电路组成.

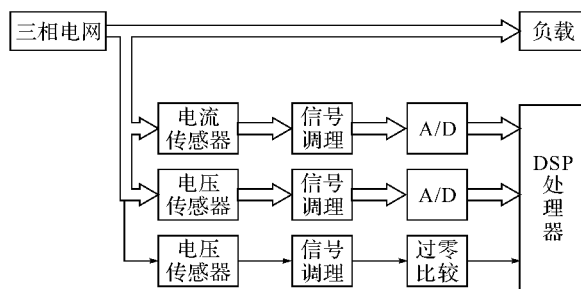


图 1 谐波电流检测系统组成原理框图

Fig. 1 The structure of Harmonic current detection system

电流信号采样电路原理图如图 2 所示.电流流经电流传感器 CHB-25NP 以后,由 R_1 分压电阻,得到一个双极性电压信号;由 R_2 和 C_1 组成的低通滤波器滤除其中的高频成分后,经电压跟随器隔离、在双极性电压信号上叠加一个 3.3 V 的电压、把双极性信号变成单极性信号(A/D 输入要求为单极性信号);再用一个电压跟随器进行信号隔离,由 R_3 限流、 D_1 与 D_2 限幅以后得到一个符合 A/D(模数转换)输入要求的信号,送入到 DSP 的 A/D 输入通道.

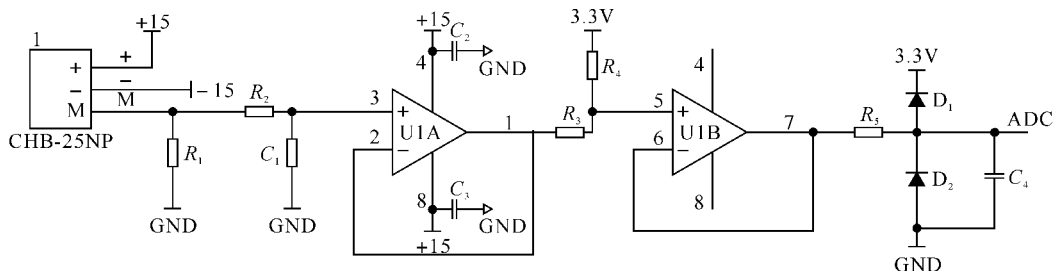


图 2 电流信号采样电路

Fig. 2 Current sampling circuit

收稿日期:2011-10-11

作者简介:孙 谋(1983-),男,湖北洪湖人,硕士研究生,研究方向:电力电子应用技术.

指导老师:文小玲,女,教授,硕士,硕士研究生导师,研究方向:自动控制与电力电子应用技术.

电压信号采样电路和电流信号采样电路的基本原理一样,篇幅有限,这里不再赘述。

如图 3 所示为电网电压同步信号检测电路。首先,由 R_2 把 a 相电压信号限流以后接至电压传感器 CHV-25 V,并经分压电阻 R_3 得到一个双极性电压信号;然后,由 R_4 和 C_1 组成的低通滤波器

滤除其中的高频成分;最后,经电压跟随器和过零比较器得到带有 a 相电压相位信息的方波信号,再经 DW2 稳压二极管稳定方波幅值以后直接输入到 DSP 的捕获通道 CAP6。DSP 内部通过 CAP6 捕获方波上升沿的时刻解决与电网信号同步的问题。

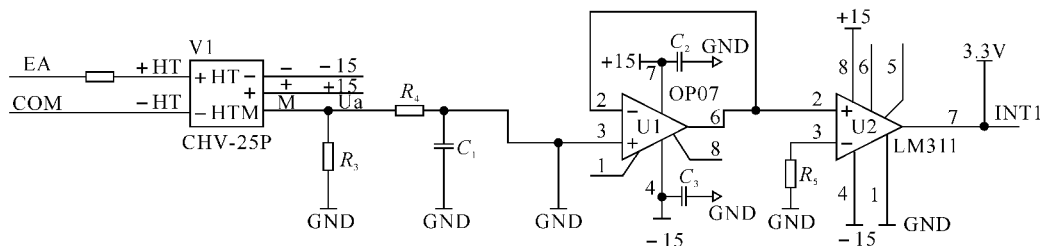


图 3 电压同步信号检测电路

Fig. 3 Detection circuit of the voltage synchronization signal

2 软件设计

谐波电流检测法主要有:基于 Fryze(人名)传统功率定义的检测法^[3],基于正弦函数正交特性的检测法^[4],同步检测法^[5],基于瞬时无功功率理论的检测法等^[6-9]。其中,瞬时无功功率理论突破了传统的以平均值为基础的功率定义,系统地定义了瞬时有功功率、瞬时无功功率等瞬时功率量。在许多方面取得了成功的应用。

2.1 ip-iq 算法

基于瞬时无功功率理论的 ip-iq(基于瞬时有功电流-无功电流)算法物理概念明确、硬件实现简单、检测精度高,延时小、动态特性好,检测结果不受电网电压波形畸变的影响而获得广泛应用。

要实现 ip-iq 算法,需要用到三相电流信号、a 相电网电压同步信号、已获得与电网电压同相位的正余弦信号 $\sin\omega t$ 和 $\cos\omega t$ 。为了加快运算速度,设计时 $\sin\omega t$ 和 $\cos\omega t$ 的值利用查表法取得。系统的采样频率取 6.4 kHz,即每个工频周期采 128 个点。

ip-iq 算法的系统软件主要是由 CAP6 (DSP 处理器 6 号捕获通道)中断服务程序、T1(定时器)中断服务程序和 A/D 中断服务程序组成。CAP6 中断服务程序主要是解决指令电流与 a 相电压同步及程序内部正余弦表指针复位的问题;T1 中断服务程序触发 A/D 采样;A/D 中断服务程序完成 ip-iq 算法。

如图 4 所示为 CAP6 中断服务程序的程序流程图。CAP6 捕获到一个上升沿以后,产生一个中断。当 CAP6 中断到来时,首先计算出工频周期 T 是否在允许的范围内,若不在允许范围内,则认为是外部噪声引起的干扰、直接中断返回;若

在允许范围内,则把 T 除以 128 以后赋值给定时器 T1 的周期寄存器,然后复位 T1 和正余弦表指针。

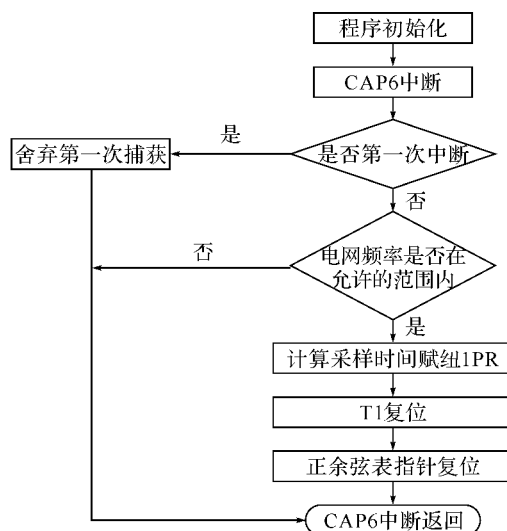


图 4 CAP6 中断服务程序流程图

Fig. 4 CAP6 interrupting program flow chart

T1 中断服务程序的作用就是触发 A/D 采样,每发生一次 T1 周期中断就触发一次 A/D 采样,因此 A/D 采样的周期受 T1 周期中断间隔时间确定,T1 周期寄存器的值为工频周期的 1/128,因此一个工频周期内将采样 128 次。

A/D 采样结束以后会自动产生一个 A/D 中断,如图 5 所示为 A/D 中断服务程序流程图。A/D 中断以后,首先读取 A/D 采样值,计算有功电流瞬时值 i_p ,并对它进行数字滤波、滤除其中的交流成分、得到直流分量 i_p ;然后对 i_p 进行反变换得到三相基波有功分量 i_f ,由采样值减去三相基波有功分量得到所需要的谐波电流即指令电流 i_h ,为了防止边界溢出,判断这个工频周期内是否已经完成了 128 次 A/D 采样,如果完成了直接中断返

回,如果还没有则正余弦指针加 1,最后中断返回。

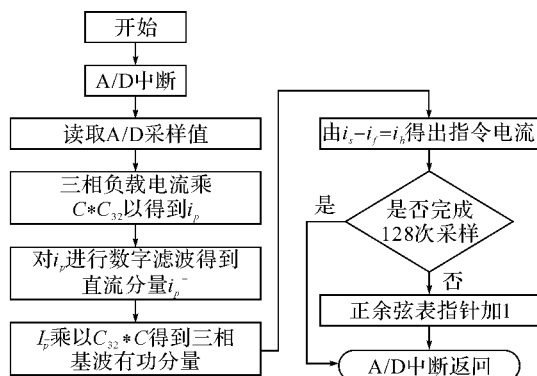


图 5 A/D 中断服务程序流程图

Fig. 5 A/D interrupting program flow chart

2.2 改进 ip-iq 算法

虽然 ip-iq 算法有很多优点,但它的缺点也很明显,不管电网电压是否对称有畸变,只要存在电压相位检测误差,ip-iq 法就不能准确检测出正序基波有功电流分量。改进 ip-iq 算法利用同频率同相序的电压、电流旋转矢量在任意时刻的角度差均为常数这一原理,以固定频率如 50 Hz 的正、余弦信号 $\sin\omega t$ 、 $\cos\omega t$ 为基准进行同步旋转坐标变换求取三相正序基波电压新相角。理论上该方法可完全消除电压相位检测误差对电流正序基波有功分量检测精度的影响,且其检测精度不受电压、电流波形是否对称和畸变的影响。

要实现改进 ip-iq 算法,需要用到三相电流、电压瞬时值、固定频率为 50 Hz 的正余弦信号 $\sin\omega t$ 和 $\cos\omega t$ 。其软件设计思路 and 主要结构与 ip-iq 算法基本一致,不同之处主要是 A/D 中断服务程序。如图 6 所示为改进 ip-iq 算法的 A/D 中断服务程序流程图。

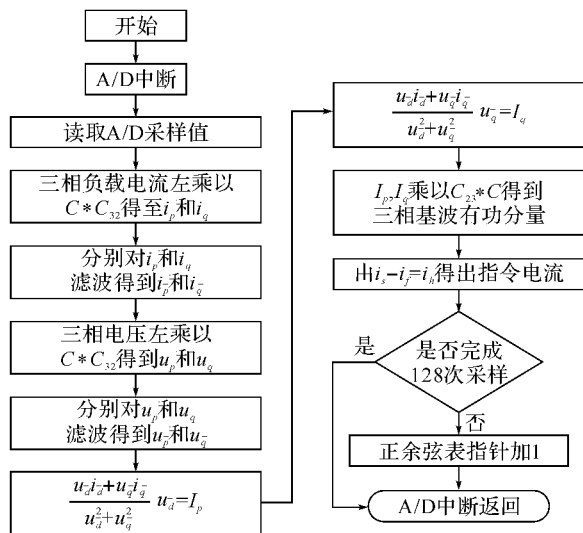


图 6 改进型 A/D 中断服务程序流程图

Fig. 6 Improved A/D interrupting program flow chart

3 实验研究

在完成所有硬件和软件的设计以后,以图 1 作为实验模型,电源相电压 50 V,频率 50 Hz,负载为二极管整流桥带灯箱,负载电流有效值 3 A,利用泰克公司示波器 TDS3012B 从 DSP 的 D/A 转换器输出端观察如下几种不同条件下的谐波电流及负载电流波形。

图 7 所示为二极管整流桥带灯箱负载与带灯箱和电感负载情况下的电流波形,且同一图中上面的波形表示负载电流、下面的波形表示被检测出的谐波电流。从图 7 可以看出,带灯箱和电感负载的负载电流波峰和波谷明显要比仅仅带灯箱负载的负载电流波形平滑些。与此对应的谐波电流也一样,带灯箱和电感负载的谐波电流波峰和波谷比仅仅带灯箱负载的谐波电流波形平滑些。带灯箱的负载电流中只有谐波电流,而带灯箱和电感的负载电流中含有谐波和无功电流。

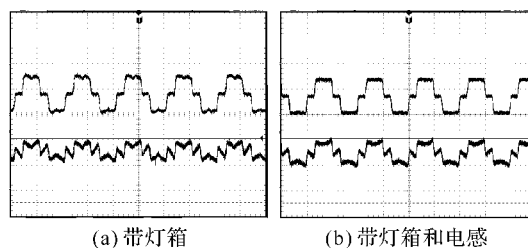


图 7 不同负载下的电流波形

Fig. 7 Current waveforms under different load conditions

图 8 所示为负载电流由 3 A 突变到 5 A (如图 8(a)所示)和负载由 5 A 突变到 3 A (见图 8(b))时的电流波形,且同一图中上面的波形表示负载电流、下面的波形表示被检测出的谐波电流。从图 8 可以看出,不管是电流突增或电流突减,由该系统提取出的谐波电流都能快速地跟随负载电流的变化而变化,并且都能快速的稳定下来。

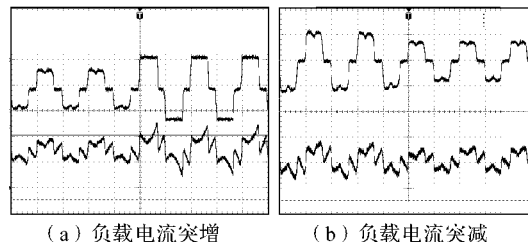


图 8 负载突变时的电流波形

Fig. 8 Current waveforms when the load current changes abruptly

在 a 相电压的相位都能被准确地检测的条件下,ip-iq 算法与改进的 ip-iq 算法都能准确检测出电网中的谐波和无功分量,因此两种方法都可获得上述实验结果。在 a 相支路中加入一个电感,改

变 a 相电压的相位,使电压相位检测出现一定的误差,负载采用灯箱和电感引入无功分量.在此条件下所得到的 b 相电压(幅值较大)与 b 相负载电流基波有功分量(幅值较小)如图 9 所示.

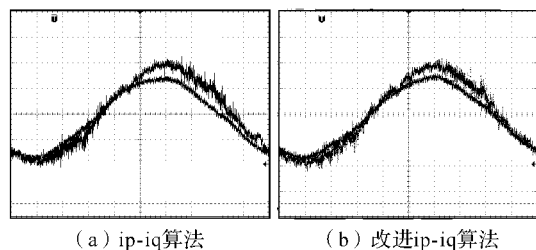


图 9 ip-iq 法与改进型的 ip-iq 法比较

Fig. 9 Ip-iq method compared with improved ip-iq method

从图 9 中可以看出,用 ip-iq 算法得到的 b 相电压与 b 相基波有功分量之间明显有相位差,而改进 ip-iq 算法则基本上没有相位差,因此 ip-iq 算法在检测 a 相电压相位有误差时不能准确检测出负载电流的有功分量.而改进的 ip-iq 算法依然能准确检测出电网中的有功分量,但是改进的 ip-iq 算法硬件电路和软件设计相对比较复杂.

4 结 语

以上给出了一种谐波电流检测系统的硬件设计方法及在此硬件基础上的两种谐波检测法的软件设计,该方法省去了传统方法中的锁相环分频电路,改由软件的方法实现分频,简化了硬件电路,也同时省去了由锁相环低通滤波所带来的误差.在不同性质的稳态负载条件下和负载电流突

变的、且 a 相电压相位无误差的条件下,两种检测方法都能准确、快速地检测出负载电流中的谐波电流分量.即使 a 相电压相位有误差,改进 ip-iq 算法依然能快速准确检测出负载中的谐波和无功分量.证明该系统的设计是可行而有效的.

参考文献:

- [1] 郭自勇.有源电力滤波器检测与控制技术的研究及应用[D].长沙:湖南大学,2007.
- [2] 张颖.有源滤波器在改善电能质量中的应用[J].电力系统及其自动化学报,2010,22(4):103-106.
- [3] 孙卓,姜新建,朱东起.电气化铁路中谐波无功负序电流的实时检测方法[J].电力系统自动化,2003,27(15):53-27.
- [4] 李红雨,吴隆辉,卓放,等.一种新型的快速电流检测方法的研究[J].中国电机工程学报,2005,25(3):57-61.
- [5] 郝瑞祥,傅仲文,程志光.用于谐波电流检测的新型同步检测法[J].电气传动,2005,35(1):31-34.
- [6] 刘义亭.SHEPWM 实现方法及其在 D-STATCOM 中的应用[J].武汉工程大学学报,2011,33(4):73-76.
- [7] 陈东华,谢少军,周波.用于有源动力滤波器谐波和无功电流检测的一种改进同步参考坐标法[J].中国电机工程学报,2005,25(20):62-67.
- [8] 唐杰,罗安,涂春鸣,等.配电静止同步补偿器的补偿电流检测方法[J].中国电机工程学报,2008,28(28):108-112.
- [9] 刘涤尘,钱薇,王静.基于数字信号处理的谐波和无功电流的检测[J].电力系统及其自动化学报,2007,19(4):50-55.

Design of harmonic and reactive current detection system

SUN Mou, WEN Xiao-ling, HUANG Wen-hui, LI Feng-xu

(School of Electrical and Information Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Hardware and software design scheme of harmonic current detection system was expounded in detail in this paper, and it was implemented in the TMS320LF2407 (a kind of digital signal processor model number) hardware platform. At last, the developed system was experimentally studied under the different load conditions. The advantages and disadvantages of the two harmonic current detection methods were compared. Experimental results show that the system was feasible and effective.

Key words: harmonic current detection; active power filter; DSP

本文编辑:陈小平